



**Giornata di lavoro sulle relazioni di attenuazione  
Milano, 26 giugno 2009**

**Recenti relazioni di attenuazione italiane ed europee e  
validazione con i dati registrati nei terremoti di  
Parma (dic-2008) e Abruzzo (apr-2009)”**

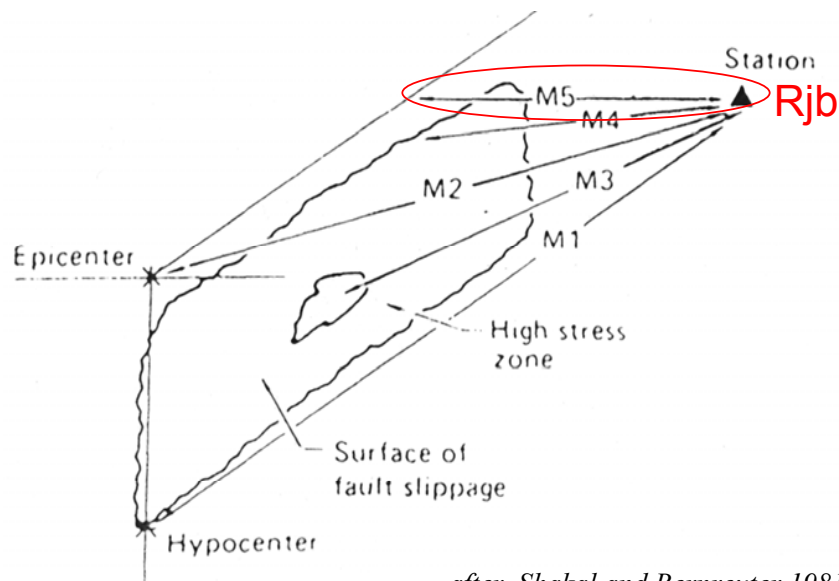
***Fabio Sabetta***  
***Ufficio SISM – DPC - Roma***  
***fabio.sabetta@protezionecivile.it***

## Recenti relazioni di attenuazione da prendere in considerazione

N°		R-range type.	M-range type	M dep geom. att	Anel. term	Style of faulting	H comp.	f-range	N° recs.	Area
1	<b>Akkar &amp; Bommer EESD (2007)</b>	1-100 km <b>R<sub>jb</sub></b>	5.0-7.6 <b>M<sub>w</sub></b>	Y	N	strike-slip, normal, reverse <b>(scale fact. incl.)</b>	geom. mean	0.25 -20 Hz	532	Europe Middle East 1973-2003
2	<b>Bommer et al. BSSA (2007)</b>	1-100 km <b>R<sub>jb</sub></b>	3.0-7.6 <b>M<sub>w</sub></b>	Y	N	strike-slip, normal, reverse <b>(scale fact. incl.)</b>	geom. mean	2 -20 Hz	997	Europe Middle East 1973-2003
3	<b>ITA08 Bindi et al BEE (2009)</b>	3-100 km <b>R<sub>jb</sub></b> (M <sub>w</sub> >5.5) <b>R<sub>epi</sub></b> (M <sub>w</sub> ≤5.5)	4.0-6.9 <b>M<sub>w</sub></b>	Y	N	strike-slip, normal, reverse <b>(scale fact. incl.)</b>	larger PGA	0.5 -33 Hz	561	<b>Italy</b> 1972-2007
4	<b>Di Alessandro, Rovelli et al. ?? 2009</b>	? <b>R<sub>hypo</sub></b>	? <b>M<sub>w</sub></b>	Y	<b>Y</b>	?	?	?	?	<b>Italy</b> (site class based on Fo)
5	<b>Malagnini et al. GRL (2008)</b>	10-200 km <b>R<sub>hypo</sub></b>	2.0-6.0 <b>M<sub>w</sub></b>	Y	<b>Y</b>	normal	both	PGA, PGV 0.3, 1, 3.3 HZ		Central <b>Italy</b> <b>Seimograms, Brune model, RVT</b>
6	<b>Cauzzi Faccioli J. Seism (2008)</b>	5-150 km <b>R<sub>hypo</sub></b>	5.0-7.2 <b>M<sub>w</sub></b>	N	N	Not considered	both	0.05 -20 Hz Disp. sp	1155	Worldwide DIGITAL (82% K-NET) 1995-2005
7	<b>Boore and Atkinson NGA (2008)</b>	0 - 400 km <b>R<sub>jb</sub></b>	4.2-7.9 <b>M<sub>w</sub></b>	Y	N	strike-slip, normal, reverse <b>(scale fact. incl.)</b>	geom. mean	0.1-100 Hz	1574.	World (NGA), mainly WNA and Taiwan 1940-2007

## Compatibilità delle relazioni di attenuazione

As different relations use different definitions both of the dependent and independent variables, empirical conversions rules or **adjustments** are need to achieve compatibility amongst the relations.



after Shakal and Bernreuter 1981

### Distance Measures ( from recording station )

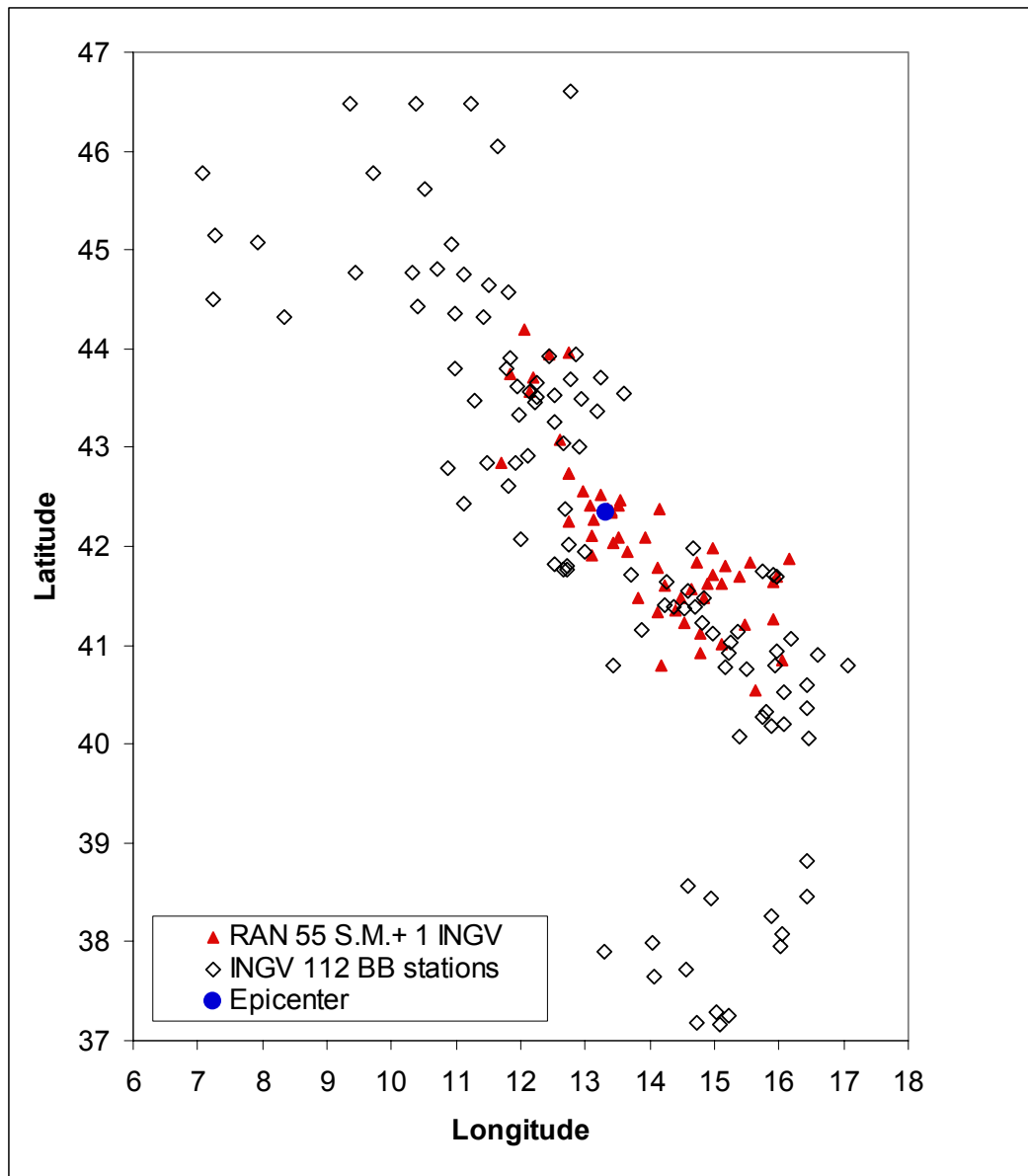
- M1 - Hypocentral
- M2 - Epicentral
- M3 - Dist. to energetic zone
- M4 - Dist. to slipped fault
- M5 - Dist. to surface projection of fault

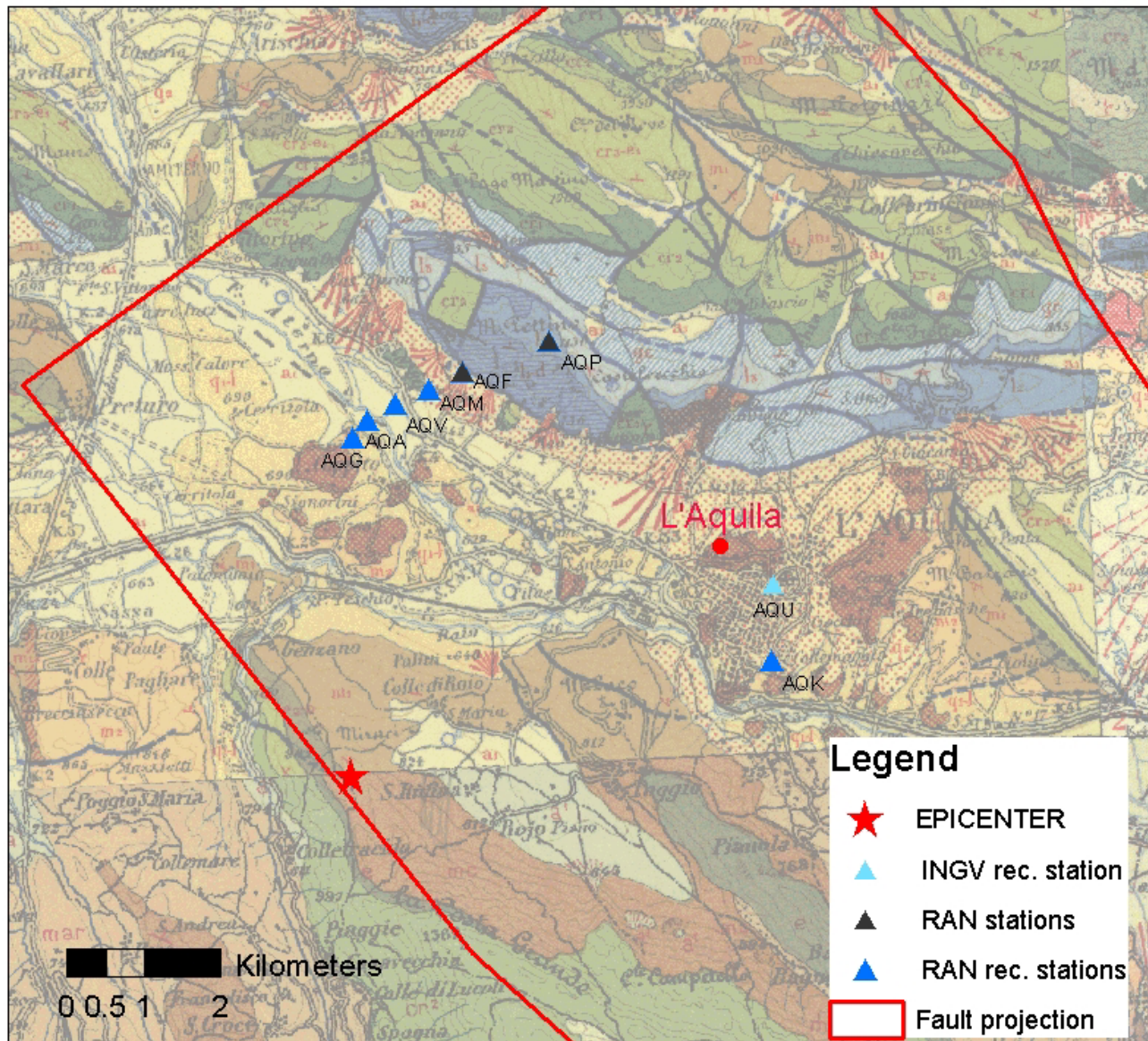
Consistency among different attenuation relations need to be checked in terms of:

1. **Distance source-to-station definition**
2. **Magnitude scale**
3. **Style-of-faulting**
4. **Site conditions (definition of rock site)**
5. **Selection of the two horizontal components**

## TERREMOTO ABRUZZO

Stazioni della rete  
accelerometrica RAN e  
stazioni “Broad-Band”  
che hanno registrato la  
scossa principale del  
terremoto dell’Abruzzo  
del 6 aprile 2009.

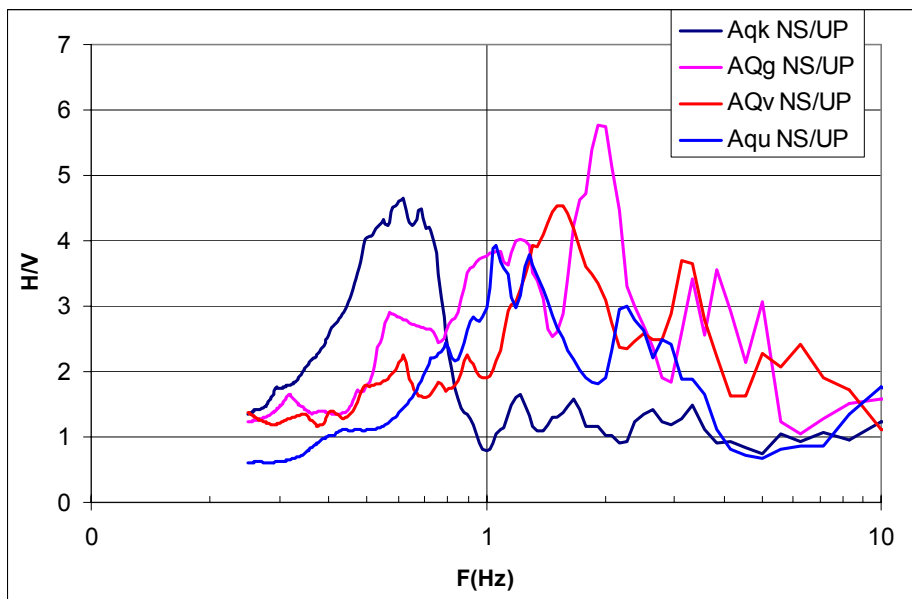




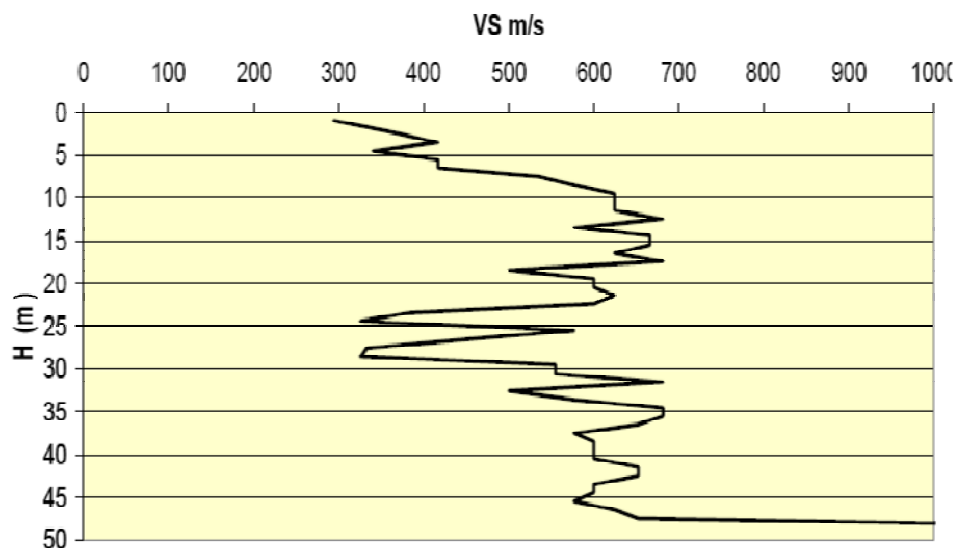
Le stazioni accelerometriche più vicine all'epicentro e anche al centro dell'Aquila si trovano tutte all'interno della proiezione in superficie della geometria della faglia (distanza "Joyner-Boore" = 0)

## CARATTERISTICHE DEI SITI

Rapporti H/V delle  
registrazioni del  
main shock per le  
stazioni Aqk,  
Aqg, Aqv, Aqu



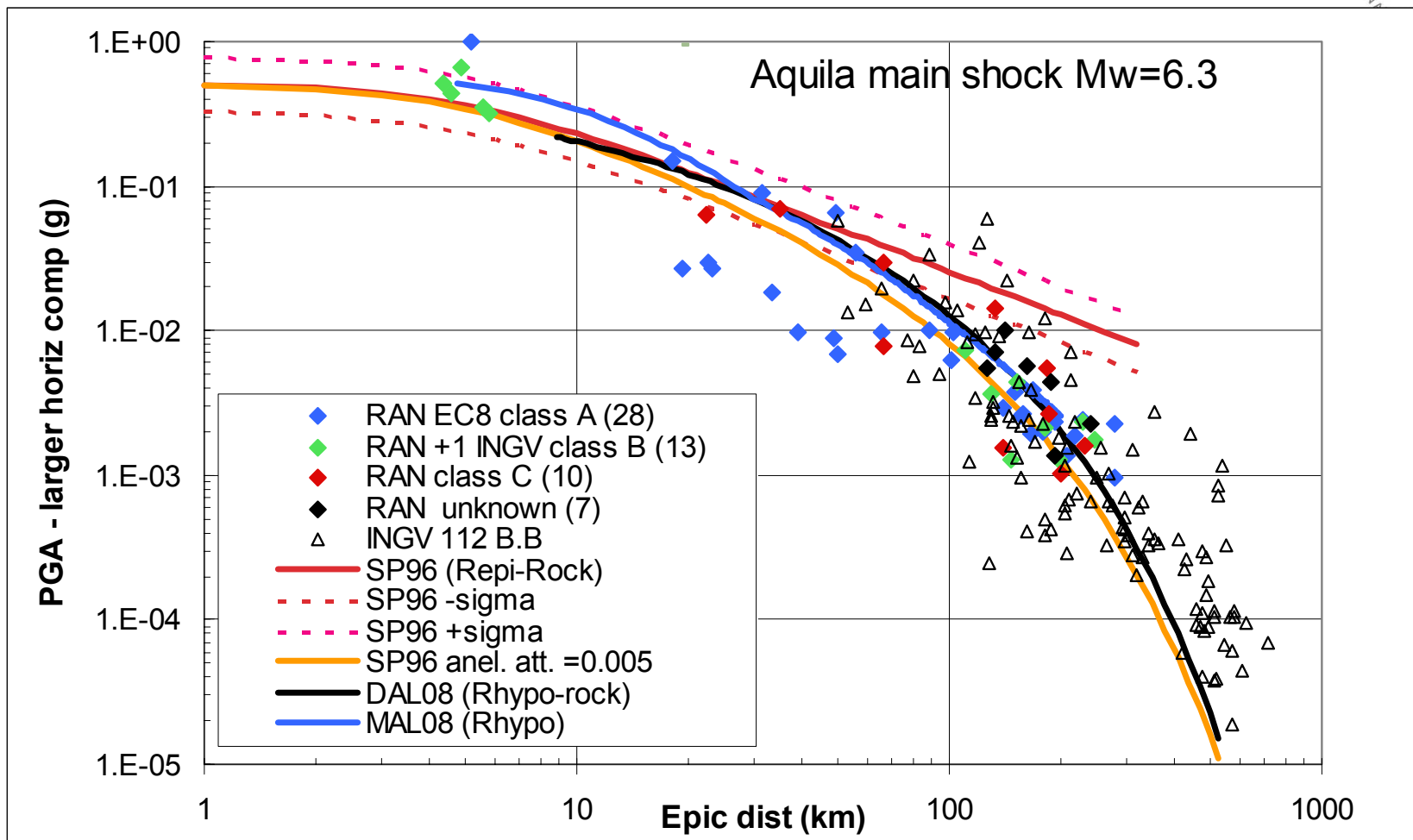
Di Capua G., Lanzo G., Luzi L., Pacor F.,  
Paolucci R., Peppoloni S., Scasserra G.,  
Puglia R. (2009). Caratteristiche  
geologiche e classificazione di sito delle  
stazioni accelerometriche ubicate a  
L'Aquila  
([esse4.mi.ingv.it/index.php?option=com\\_ontent&task=view&id=12&Itemid=](http://esse4.mi.ingv.it/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=))



Profilo di Vs per la  
stazione Aqv

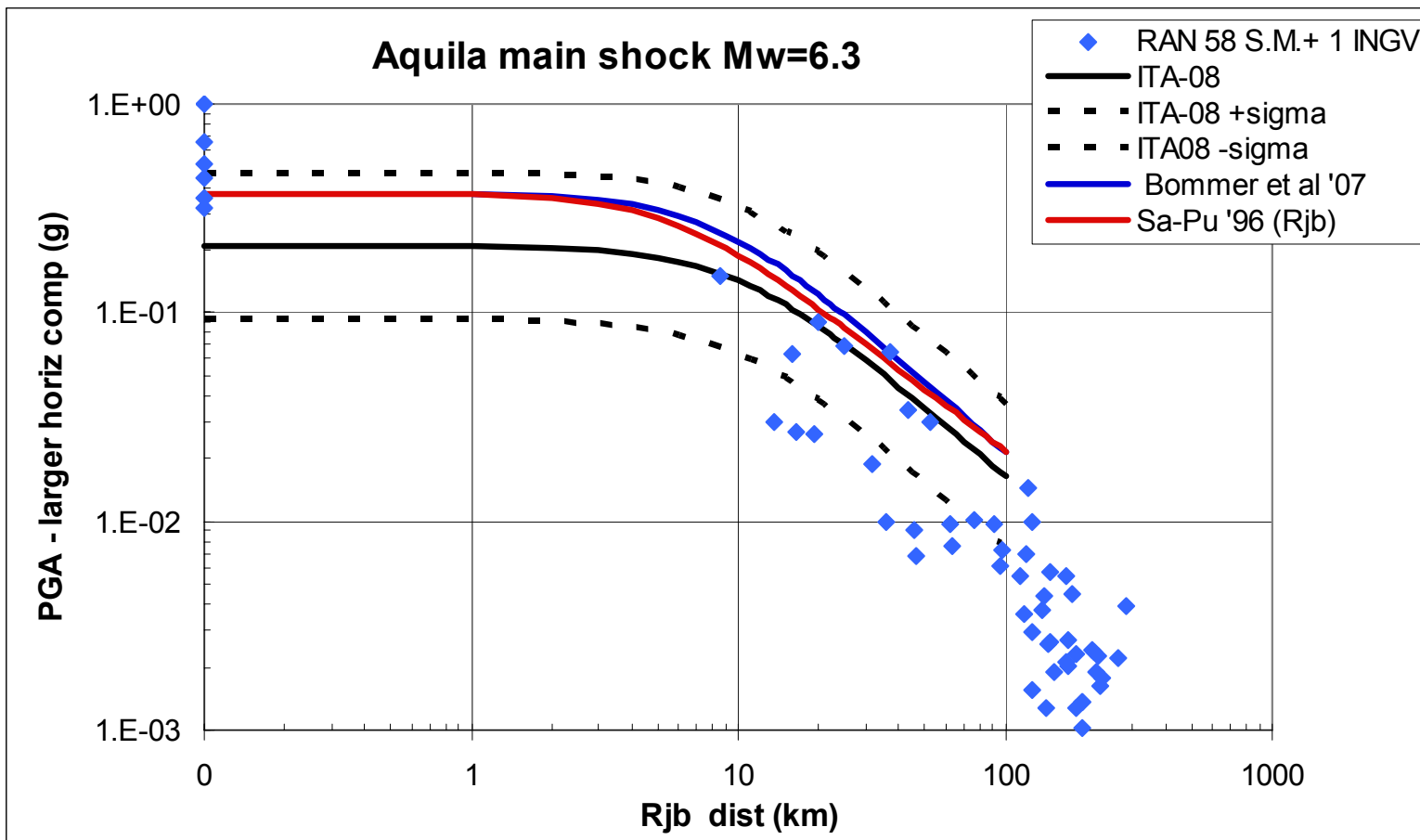


Station Name	Station code	Rjb distance (Km)	Epic. distance (Km)	EC8 site class	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Duration Vanm. (s)	Duration Trif. (s)
V. Aterno Moro	AQM	0	5.2	A	1000 (saturated)	42.18	435.4	90.1	2.1	7.0
V. Aterno - Centro Valle	AQV	0	4.9	B	646.1	42.83	285.7	94.5	3.1	7.8
V. Aterno - Colle Grilli	AQG	0	4.4	A	506.9	35.54	137.0	92.2	2.9	8.6
V. Aterno - fiume Aterno	AQA	0	4.6	B	435.6	32.03	175.0	86.1	4.8	7.7
Aquila parcheggio	AQK	0	5.6	B	347.2	36.21	128.9	68.1	4.8	15.5
Aquila Castello (INGV)	AQU	0	5.8	B	309.5	35.00	71.0	78.0	5.0	7.5
Gran Sasso (Assergi)	GSA	8.6	18.0	A	148.2	9.84	44.0	17.8	3.6	8.9
Celano	CLN	20	31.6	A	89.1	6.64	9.5	14.3	3.9	7.7
Avezzano	AVZ	25.1	34.9	C	67.7	11.28	9.7	27.3	6.5	19.0
Ortucchio	ORC	37.3	49.3	C	64.2	5.86	7.4	17.8	5.2	12.3
Montereale	MTR	15.9	22.4	B	61.6	3.53	5.8	9.7	6.9	15.4
Sulmona	SUL	43.4	56.4	A	33.6	3.73	1.0	7.0	6.7	17.7
Chieti	CHT	52.2	67.0	B	29.4	7.91	3.8	10.3	9.5	31.7
Gran Sasso (Lab. INFN)	GSG	13.7	22.6	A	29.4	3.04	0.9	4.9	4.9	11.7
Famignano	FMG	16.6	19.3	A	26.3	2.61	1.2	6.4	8.4	21.0
Antrodoco	ANT	19.3	23.0	A	26.0	2.47	1.8	6.9	8.9	22.7



Valori di PGA registrati dalla rete RAN e dai sismometri BB della rete INGV in funzione della distanza epicentrale (ipocentrale per Malagnini MAL08 e Di Alessandro DAL08) a confronto con alcune relazioni di attenuazione per siti rigidi

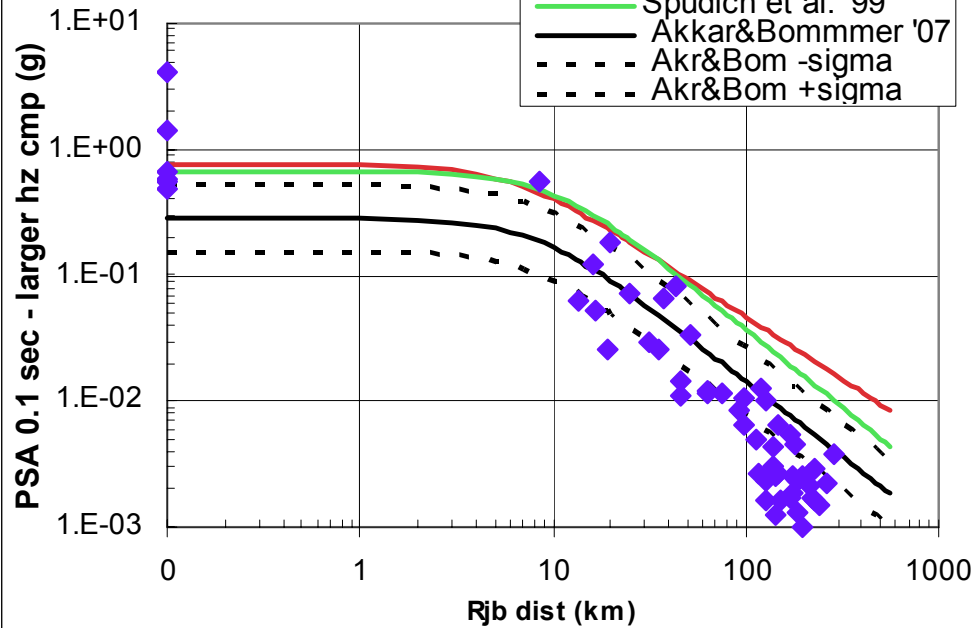




Valori di PGA registrati dalla rete RAN in funzione della distanza dalla faglia a confronto con alcune relazioni di attenuazione (ITA-08 -Bindi et al. 2009- relazione ottenuta utilizzando 561 registrazioni della banca dati accelerometrica ITACA con  $4 \leq Mw \leq 6.9$ )

### Aquila main shock Mw=6.3

- ◆ RAN+1 INGV
- Sa-Pu '96 (Rjb-Rock)
- Spudich et al. '99
- Akkar&Bommmer '07
- - - Akkr&Bom -sigma
- - - Akkr&Bom +sigma



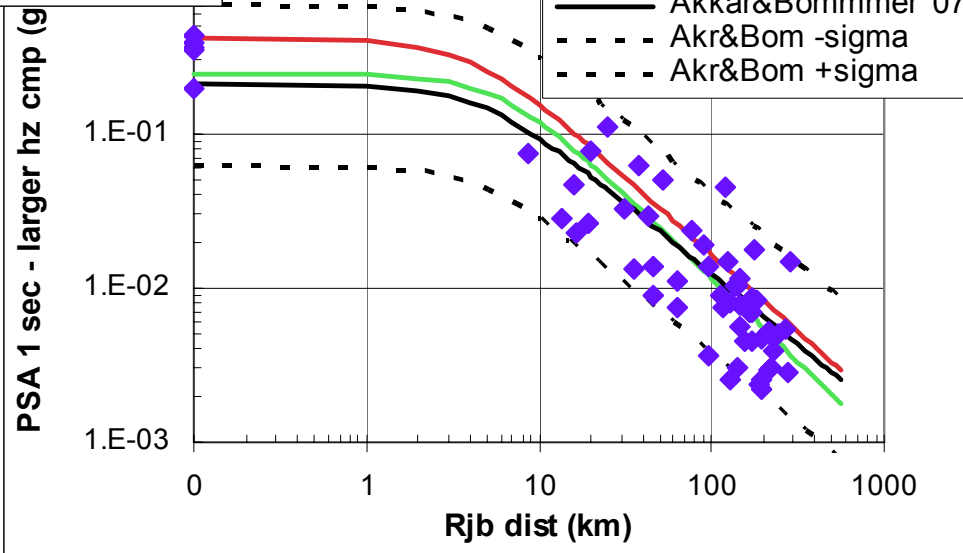
Attenuazione a diverse frequenze (effetto anelastica)

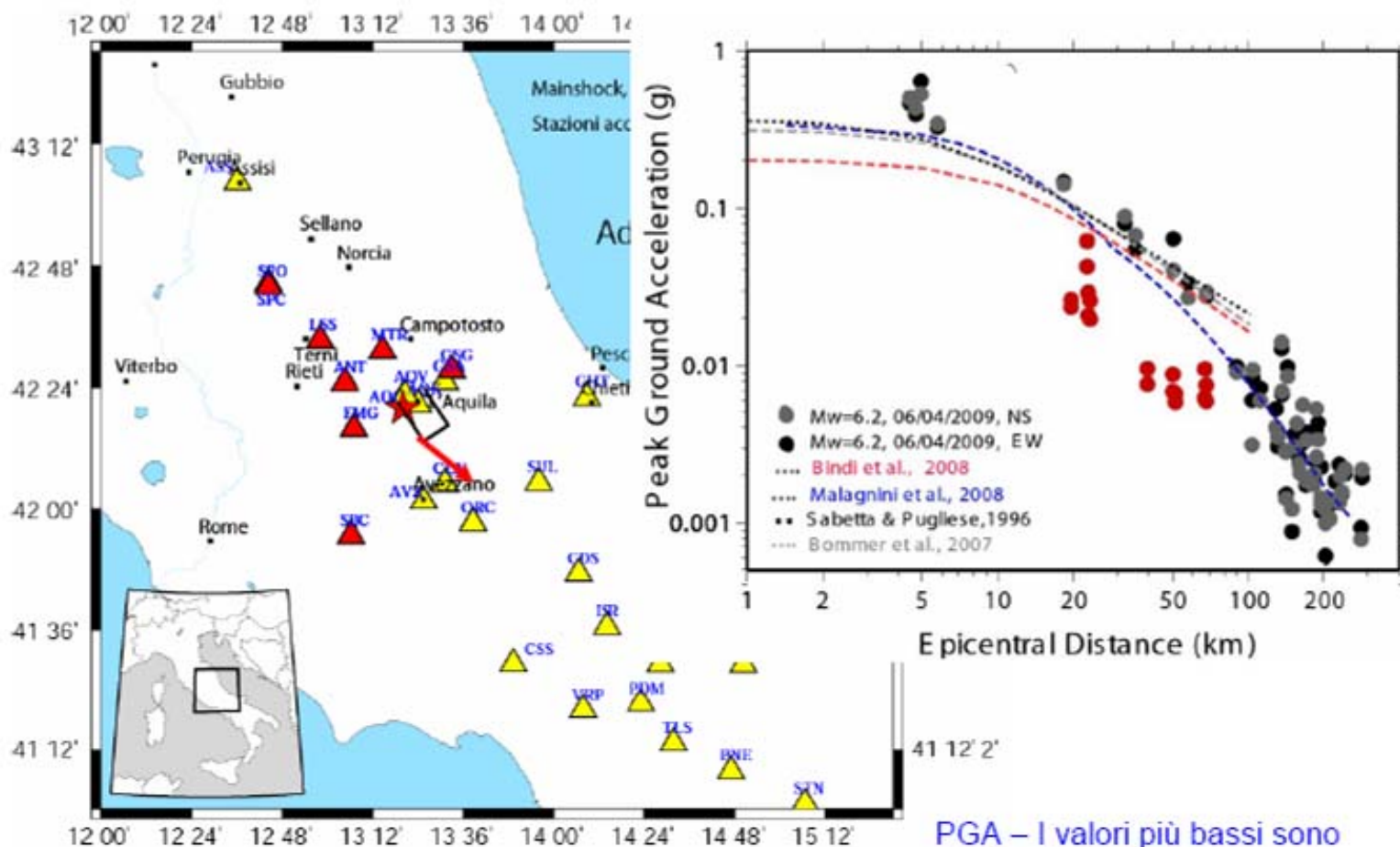
Valori dello spettro di risposta in accelerazione (5% smorz.) a **0.1 sec.** e relazioni di attenuazione

Valori dello spettro di risposta in accelerazione (5% smorz.) a **1 sec.** e relazioni di attenuazione

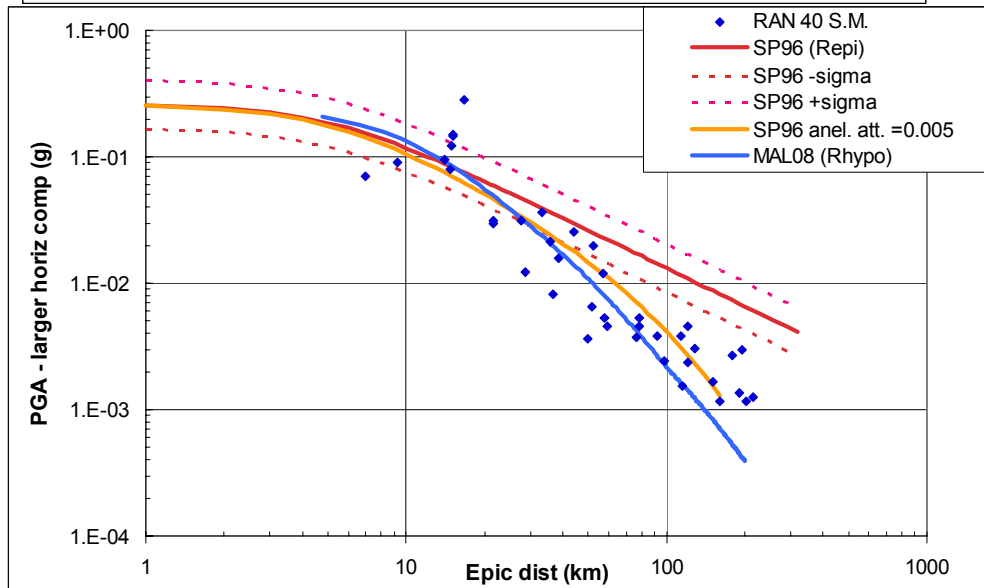
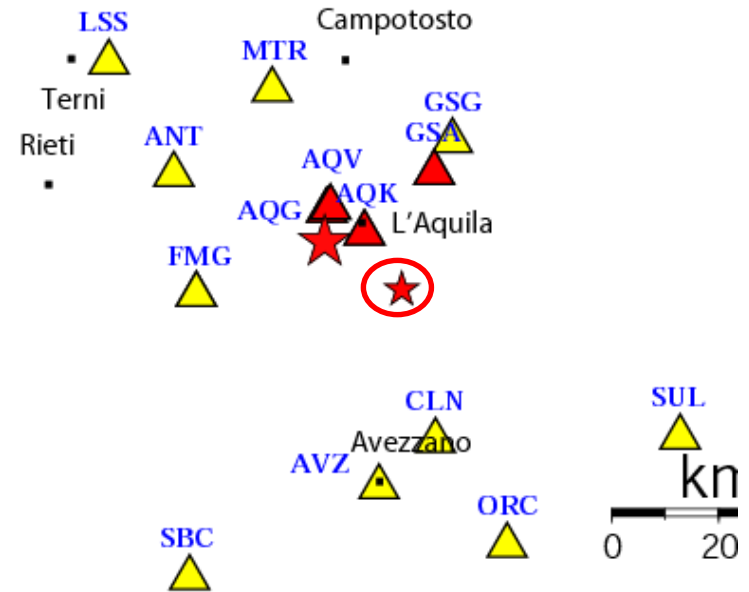
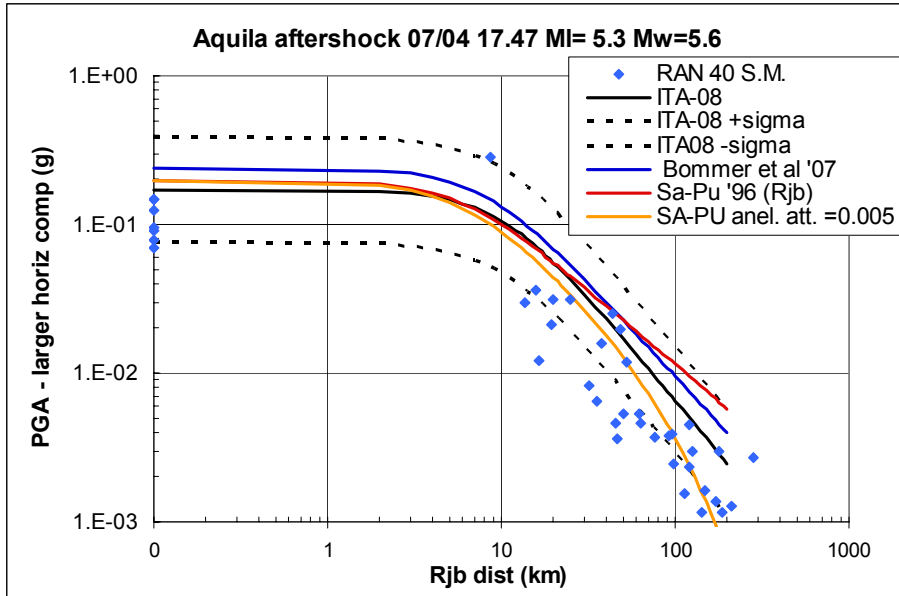
### Aquila main shock Mw=6.3

- ◆ RAN+1 INGV
- Sa-Pu '96 (Rjb-Rock)
- Spudich et al. '99
- Akkar&Bommmer '07
- - - Akkr&Bom -sigma
- - - Akkr&Bom +sigma





PGA – I valori più bassi sono stati registrati dalle stazioni indicate in rosso che si trovano in una situazione anti-direttiva rispetto alla faglia



Inversione della distribuzione dei PGA in confronto al “main-shock”. rispetto a quanto previsto dalle attenuazioni. Le stazioni in “near field” forniscono valori più bassi mentre quelle in “far field” risultano meno sovrastimate

# TERREMOTO PARMA



Date 12/23/08 Region NORTHERN ITALY  
 Centroid Location:  
 Or. Time 15:24:25.5 Lat. 44.54 N Long. 10.32 E Dep 27.

MI 5.1 Mw 5.4

Mw=5.4 from surface waves

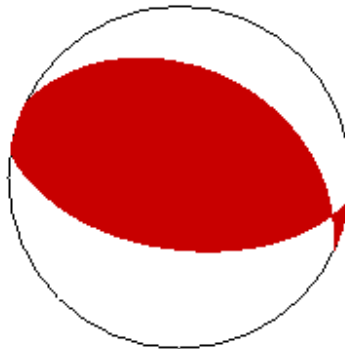
Best Double Couple M0:  $1.8 \times 10^{24}$   
 P1 str: 296 dip: 36 slip: 105  
 P2 98 55 79

122308A

Moment Tensor ( $10^{24}$  dyn-cm)  
 mrr: 1.46 mtt: -1.71 mff: 0.25  
 mrt: 0.59 mrf: 0.02 mtf: 0.62

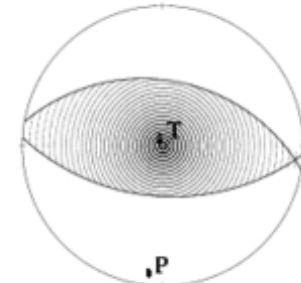
### Principal Axes

T val: 1.58 plg: 77 az: 332  
 N 0.40 9 104  
 P -1.98 9 196



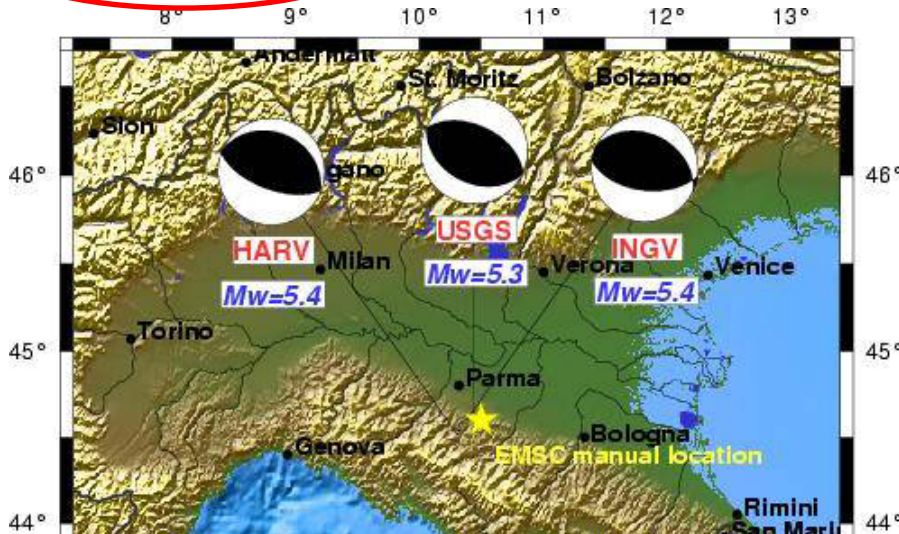
DATA USED: MedNet  
 AUTHOR: INGVO

Depth = 21 km  
 Strike = 93 ; 280  
 Rake = 86 ; 95  
 Dip = 50 ; 40  
 Mo =  $2.81 \times 10^{23}$   
 Mw = 4.9  
 Percent DC = 99  
 Percent CLVD = 1  
 Percent ISO = 0  
 Variance =  $3.79 \times 10^{-7}$   
 Var. Red =  $6.64 \times 10^1$   
 RES/Pdc. =  $3.82 \times 10^{-9}$



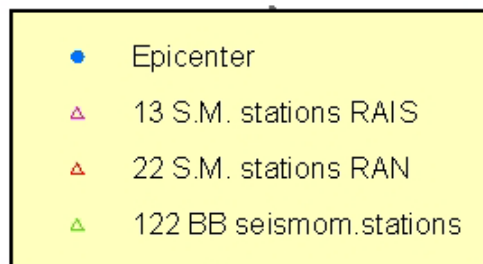
Mxx =  $-2.73 \times 10^{23}$  Myy =  $-1.81 \times 10^{21}$   
 Mxy =  $-3.21 \times 10^{22}$  Myz =  $-9.78 \times 10^{21}$   
 Mxz =  $5.29 \times 10^{22}$  Mzz =  $2.75 \times 10^{23}$

Mw=4.9 from body waves (INGV)

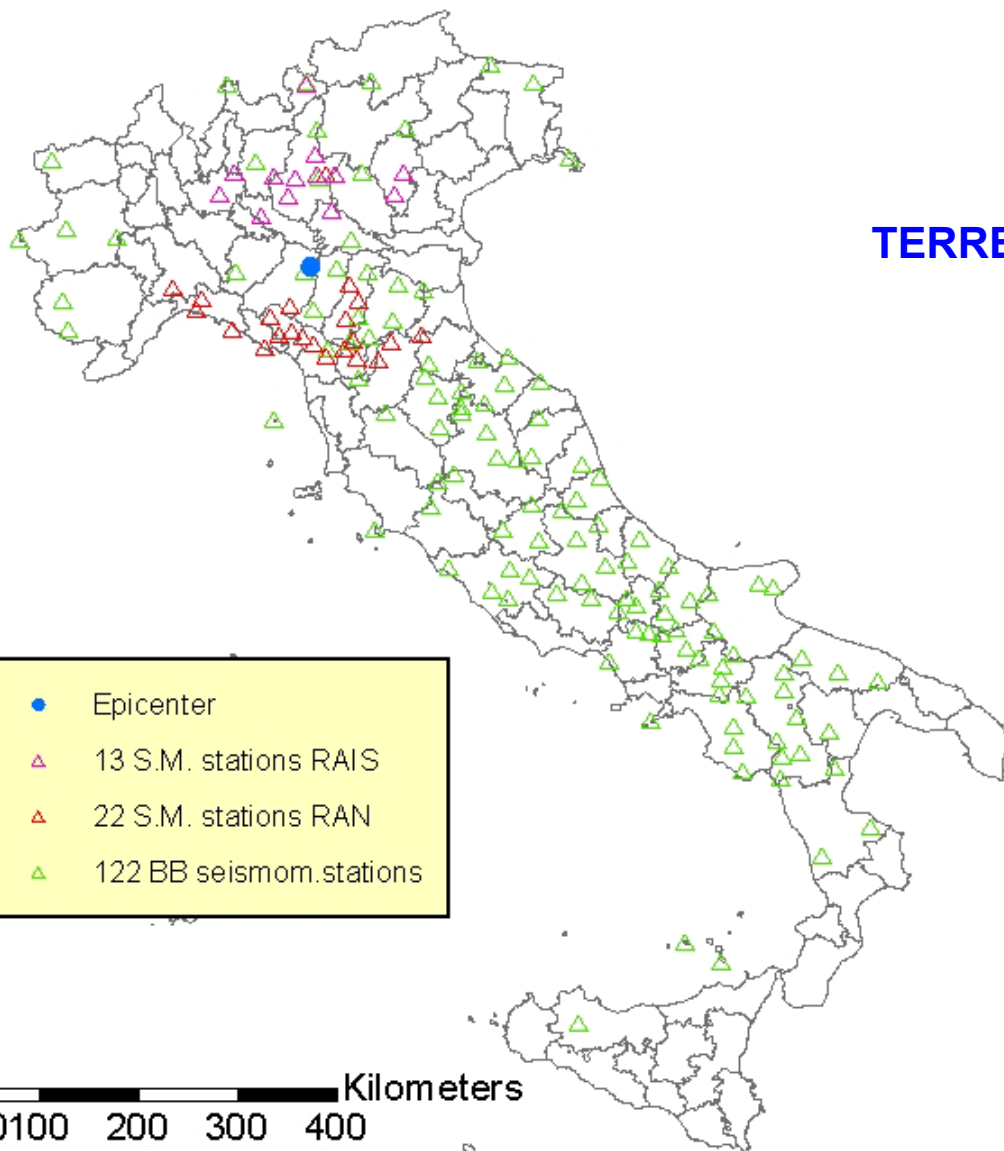


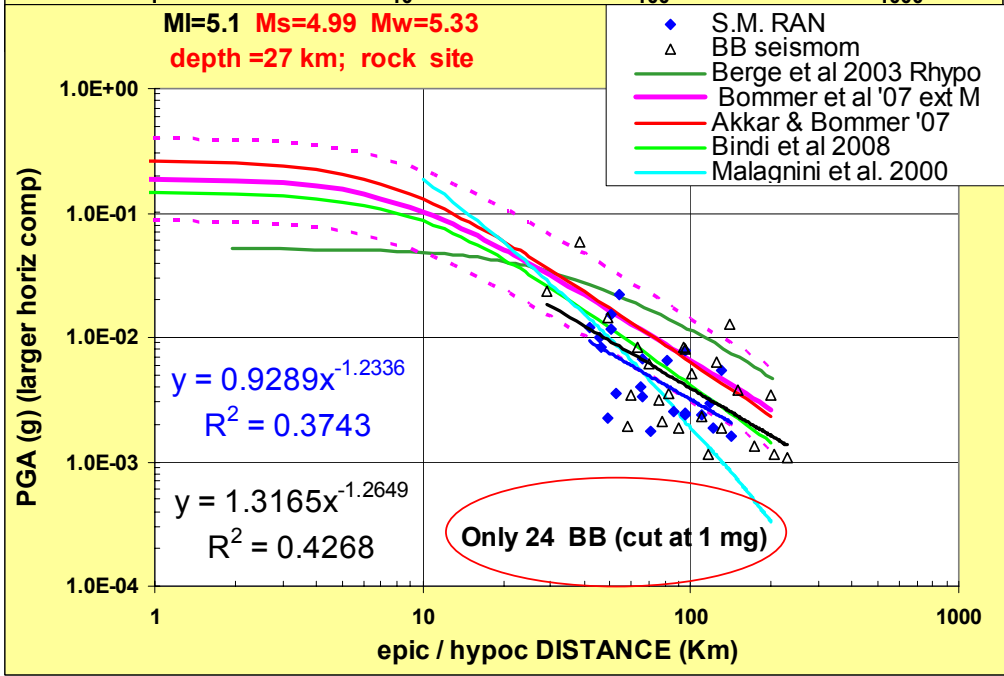
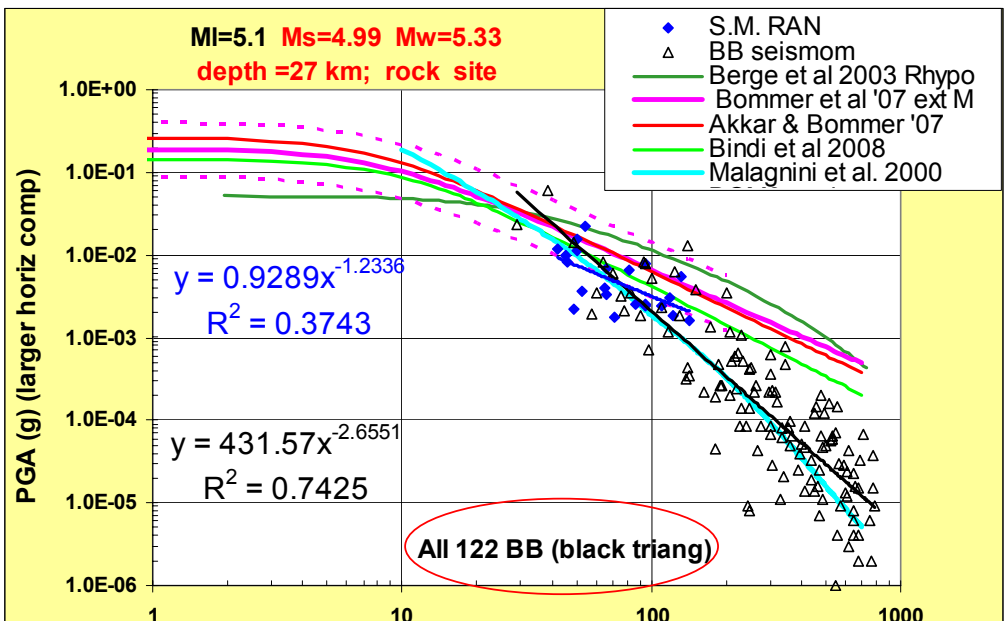
On December 23 2008 an earthquake of magnitude ML=5.1 (INGV) Mw=5.4 (INGV-Harvard Global CMT) occurred in northern Italy close to the city of Parma

## TERREMOTO PARMA



0 50 100 200 300 400 Kilometers





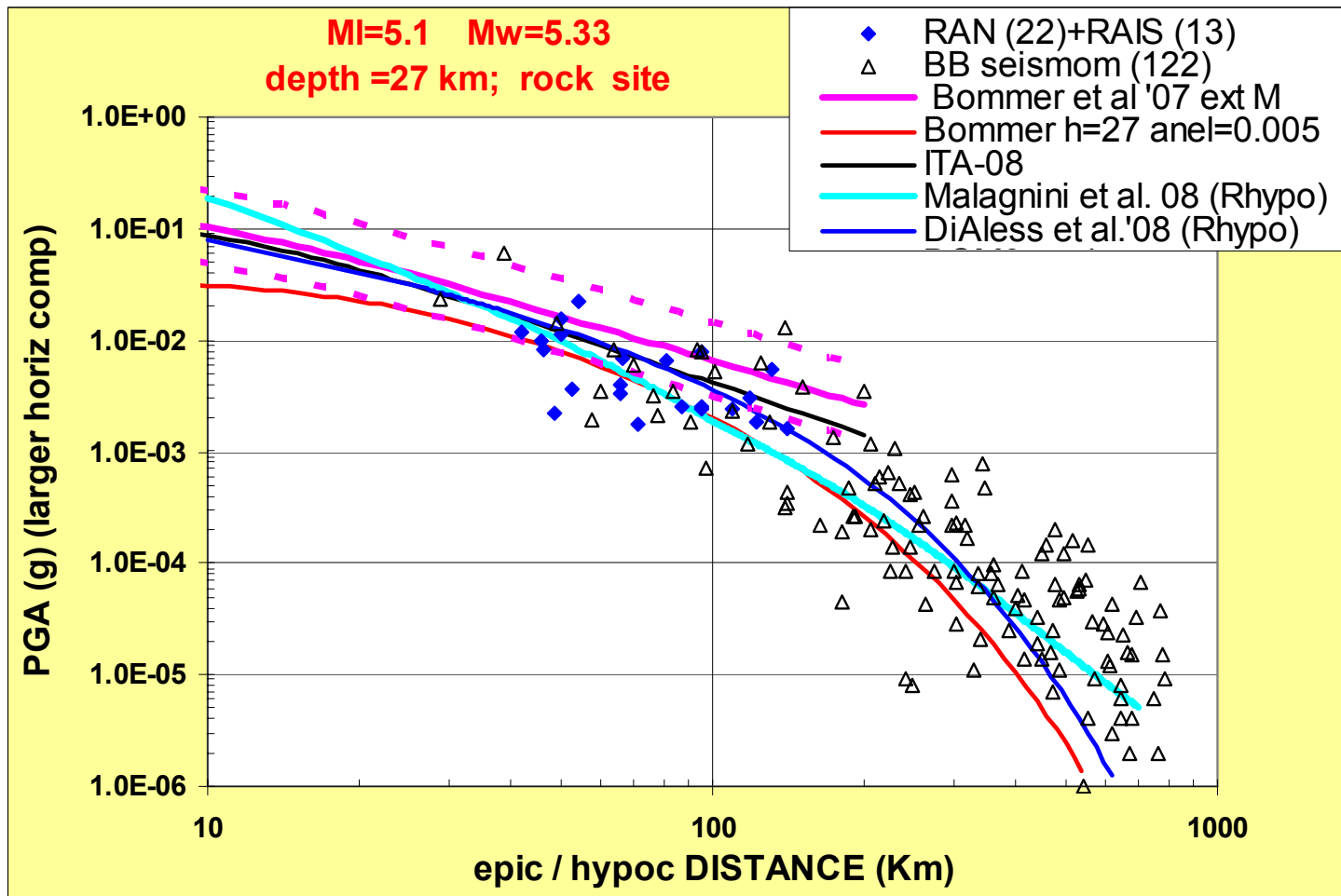
**Berge et al.** includes Hyp. Depth and small anelastic coeff. (0.00093)

**Bindi et al.'08** recent attenuation with Italian data (516 records 4<M<6.8)

**Malagnini et al.'02** based mainly on small M seismometric data and used by INGV to produce shake-maps

Appropriate adjustments have been applied to GMPE's to convert among different M scales (MI, Mw,.Ms), distance measures (epic, hypoc, Rjb) and horizontal comp. selection (max, geom. Mean)

# TERREMOTO PARMA

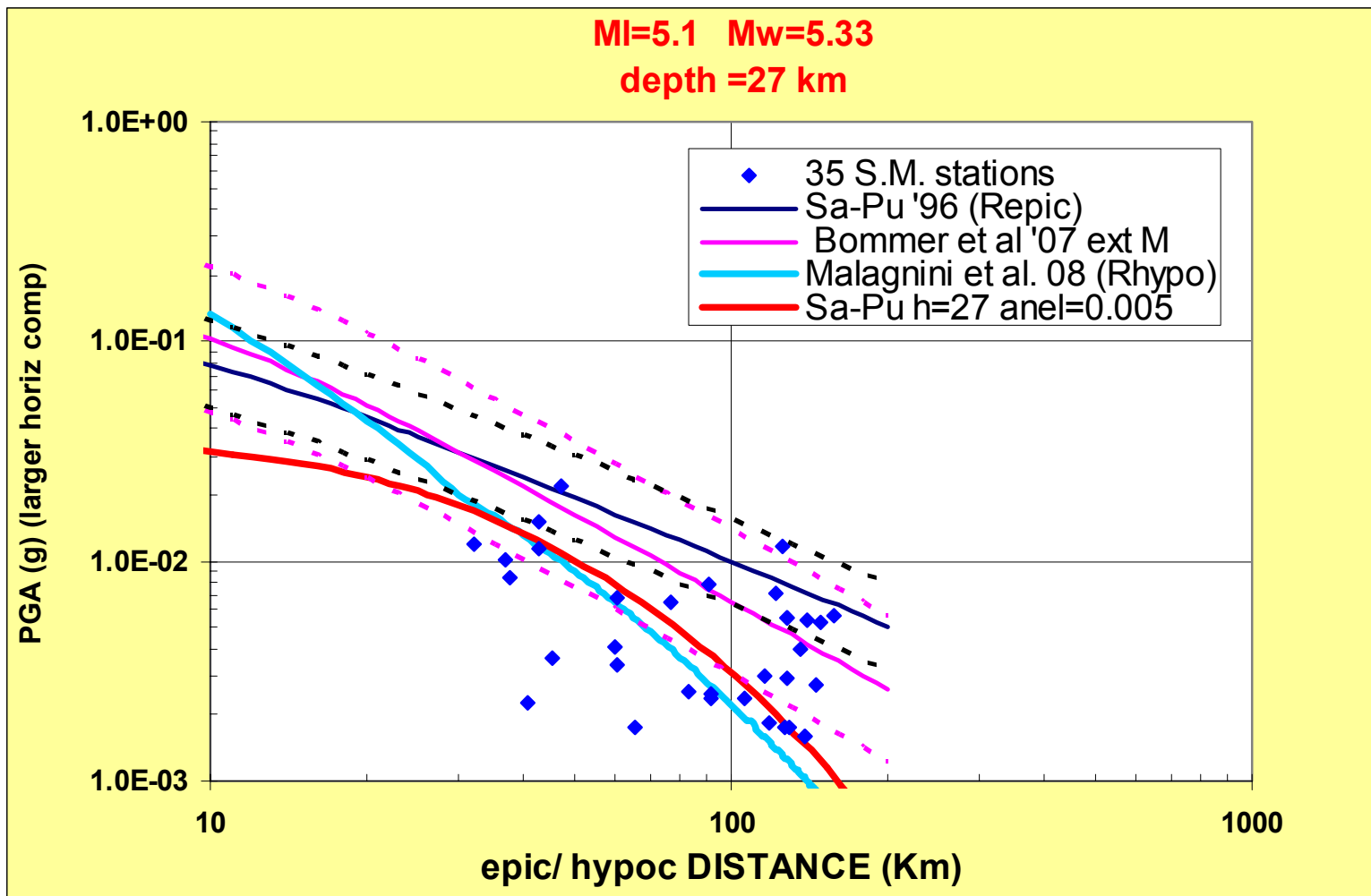


Dati plottati con distanza **ipocentrale**



# TERREMOTO PARMA

MI=5.1 Mw=5.33  
depth =27 km



Dati plottati con distanza epicentrale

# Conclusioni



- **Importanza di adoperare adeguate trasformazioni delle variabili indipendenti per assicurare consistenza nell'uso di diverse attenuazioni .**
- **In condizioni come quella dell'Aquila , prima volta in Italia di abbondanza di elevati valori di PGA in “near field”, è più appropriato usare la distanza dalla proiezione in superficie della faglia**
- **Nelle attenuazioni “ingegneristiche classiche” non si è mai considerato il termine di distanza anelastica perchè non si avevano a disposizione dati oltre 10-200 km.**
- **I valori molto elevati in “near field” del terremoto aquilano sono legati a effetti di sorgente, a alte frequenze (a 1 Hz già si normalizzano rispetto alle attenuazioni) e sono evidenti solo per il main shock.**
- **Il mio suggerimento per S2-S3 è quello di utilizzare “attenuazioni classiche” opportunamente corrette con un coefficiente anelastico nelle per fittare anche i dati a grande distanza e con la modifica del parametro  $h$  per profondità > 15 km**